



(19)

(11) Publication number:

06151281 A

Generated Document

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: 04295457

(51) Int'l. Cl.: H01L 21/027

(22) Application date: 05.11.92

(30) Priority:

(43) Date of application
publication: 31.05.94(84) Designated
contracting states:

(71) Applicant: NIKON CORP

(72) Inventor: MURAKAMI KATSUHIKO

(74) Representative:

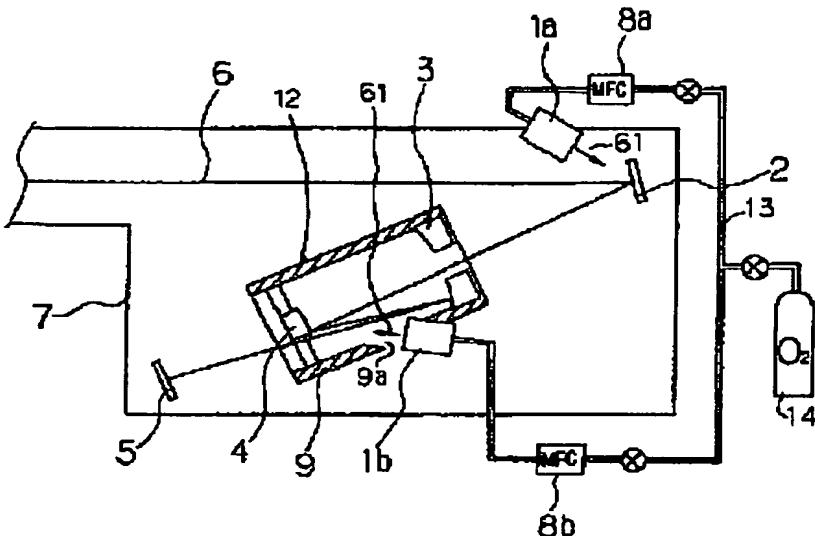
(54) X-RAY ALIGNER

(57) Abstract:

PURPOSE: To prevent carbon from being deposited on the surface of an optical element in an X-ray exposure device so as to enhance the exposure device in throughput and resolution.

CONSTITUTION: An X-ray exposure device is equipped with an X-ray optical system which is composed of a mask 2 where a prescribed pattern is formed and an optical element 12 and irradiates the mask 2 with X-rays 6 and a vacuum chamber 7 where the X-ray optical system is housed in a vacuum, wherein a means which prevents carbon from being deposited, at least, on the one sides of the optical element 12 and the mask 2 is provided.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-151281

(43)公開日 平成6年(1994)5月31日

(51)Int.Cl.⁵
H 01 L 21/027
// G 21 K 5/02

識別記号 X 9215-2G
府内整理番号 7352-4M

F I
H 01 L 21/ 30

技術表示箇所
3 3 1 A

審査請求 未請求 請求項の数4(全9頁)

(21)出願番号

特願平4-295457

(22)出願日

平成4年(1992)11月5日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 村上 勝彦

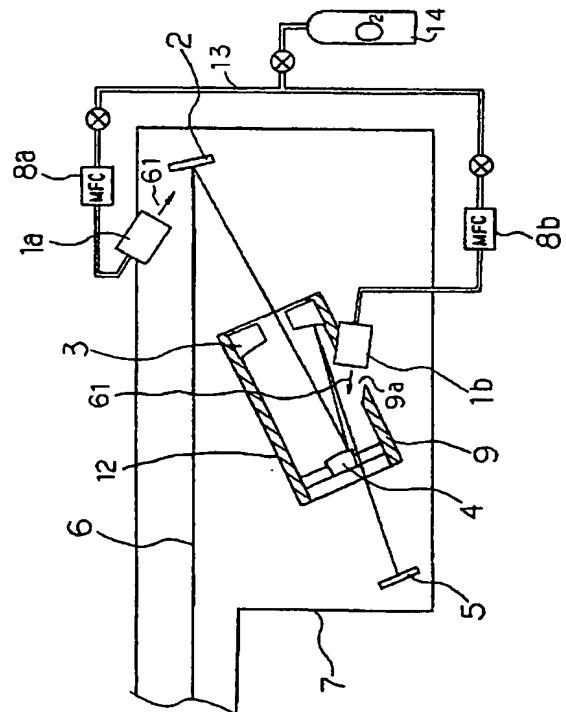
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(54)【発明の名称】 X線露光装置

(57)【要約】

【目的】 X線露光装置の光学素子表面への炭素析出を防ぎ、該装置のスループットおよび解像力を向上させる。

【構成】 所望のパターンが形成されたマスク2および光学素子12からなり、該マスクにX線6を照射して前記パターンをウエハ5上に投影するX線光学系と、該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器7とを有するX線露光装置において、光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面に対し、その面への炭素の析出を防止する手段1を設けた。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、
該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、
前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面に酸素のイオンビームを照射する手段を有することを特徴とするX線露光装置。

【請求項2】 所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、
該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、
前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面にオゾンガスを吹き付ける手段を有することを特徴とするX線露光装置。

【請求項3】 所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、
該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、
前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面を加熱する加熱手段を有することを特徴とするX線露光装置。

【請求項4】 所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、
該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、
前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面に炭素を付着し難くする処理が施してあることを特徴とするX線露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、X線リソグラフィー等に使用するX線露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、半導体集積回路素子の微細化に伴い、光の回折限界によって制限される光学系の解像力を向上させるために、従来の紫外線に代わりこれより波長の短い軟X線（以下、単にX線と略す）を用いた投影リソグラフィー（X線リソグラフィー）技術が開発されている。この技術に使用されるX線露光装置は、X線源、所望のパターンが形成されたマスク、前記X線源から射したX線をマスクに照射するための照明光学系、マスクを反射または透過したX線をウエハ上に照射するための結像光学系（縮小投影光学系）、ウエハを支持するウエハステージ、およびこれら各構成要素を収納してX線の光路を真空中に維持する真空容器によって構成されて

いた。

【0003】 X線源としては、放射光（Synchrotron Radiation）またはレーザープラズマX線源が使用される。照明光学系は、斜入射ミラー、多層膜ミラー、分光フィルタ等の光学素子によって構成され、前記X線源を射出したX線から所望の波長を有するX線を取り出して前記マスク上に照射する。マスクには、透過型マスクと反射型マスクがあり、透過型マスクはX線をよく透過する物質からなる薄いメンブレン（SiN）とこのメンブレン上に形成されたX線を吸収する物質（例えば、Au）とで所望のパターンが形成されている。これに対して反射型マスクは、X線を反射する多層膜とこの膜上に形成された反射率の低い部分とで所望のパターンが形成されている。前記照明光学系によってマスク上に照射されたX線は、透過型マスクの場合は該マスクを透過した後、また反射型マスクの場合は該マスクを反射した後、複数の多層膜ミラー等で構成された縮小投影光学系に入射する。そして、この縮小投影光学系によって前記X線がウエハ上に照射されることで、前記マスクに形成されたパターンがウエハ上に結像する。これにより、ウエハ表面に塗布されたフォトレジストに前記マスクのパターンが縮小されて転写される。

【0004】 ところで、X線は大気中ではこの大気中の成分（特に窒素）によって吸収されて減衰するため、その光路は全て所定の真空中に保つ必要がある。X線露光装置におけるX線源からウエハまでの距離は通常数m程度となるため、この間をX線が吸収されずに進行するためには真空容器内を 10^{-4} Torr程度の真空中に維持する必要がある。そのため、X線露光装置では真空ポンプ等の排気手段を用いて、前記真空容器内が所望の真空中（約 10^{-4} Torr）以上となるようにこの容器内を排気していた。ただし、ウエハに塗布されたレジストからはガスが放出されるため、このガスの圧力の影響により 10^{-10} Torr程度の高真空中に維持することは困難であった。そこで、放射光のような高真空中（圧力 10^{-10} Torr程度）を要するX線源を用いた際は、例えば、X線源部とウエハが設置される縮小投影光学系の周囲との間に差動排気系や真空分離フィルタ等を設け、これによりX線源部とは別に、縮小投影光学系周囲の真空中度を適切な値（例えば、 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ Torr）に設定していた。また、レーザープラズマX線源のような高真空中を必要としないX線源を用いた際は、X線源部を含めた真空容器内全体の真空中度を 10^{-4} Torr程度に設定していた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 前述のように、従来のX線露光装置においては、ウエハが設置される部分の真空中度は、放射光の場合は $10^{-6} \sim 10^{-7}$ Torr、レーザープラズマX線源の場合は 10^{-4} Torr程度に設定されていた。しかし、この程度の真空中度においてもウエハ上に塗布されたレジストからはガスが放出されていた。このガスの主成

分はレジストの溶媒である有機化合物であり、この有機化合物が露光装置の光学素子やマスクの表面に付着（吸着）してこの付着部分にX線が照射されると、X線のエネルギーによって前記有機化合物が分解して炭素が析出されていた。そのため、露光を行うと前記照明光学系や縮小投影光学系を構成する多層膜ミラーやマスク等の光学素子およびマスクの表面に炭素が析出するという現象が生じていた。

【0006】多層膜ミラーの表面に炭素が析出すると、該ミラーの反射率が低下してしまう。反射率の低下の度合いは析出した炭素の膜厚に依存するため、露光によりX線が照射される度にミラー表面に析出される炭素の量（膜厚）は増加し、それとともに反射率は徐々に低下していく。その結果、ウエハに到達するX線の強度が低下するようになり、露光に必要なX線強度を得るために露光時間を長くする必要が生じる。そのため、X線露光装置の効率（スループット）が低下するという問題が生じていた。また、露光の度にレジストに照射されるX線のドーズ量（単位面積当たりのX線の強度）が変化してしまうため、レジスト上に露光されたマスクのパターンの再現性が低下するという問題もあった。

【0007】透過型マスクに炭素が析出するとメンブレン部分の透過率が低下する。また、反射型マスクに炭素が析出するとX線を反射すべき部分の反射率が低下する。いずれの場合においても、マスクを経た後ウエハに到達するX線の強度は低下するため、該マスクのパターンのコントラストが悪化するという問題が生じる。このことは、レジストに転写されるパターンの像を著しく劣化させる原因となる。

【0008】これらの問題を解決する方法として、露光中に 10^{-3} Torr程度の酸素（O₂）ガスを前記光学素子に吹き付ける方法が提案された（J. Vac. Sci. Technol. B9, 1 991, p3193）。この方法によると、炭素の析出量を従来の10分の1程度に抑えることができるが、露光中にこのような高い圧力の酸素ガスを真空容器内に導入すると、このガスによって吸収されるX線の割合が大きくなる。そのため、この方法を用いてもウエハに到達するX線の強度が低下してしまい、露光装置のスループットの大幅な低下を招いてしまう。露光中は酸素ガスの導入を止め、露光をしていない時に酸素ガスを吹き付けることも考えられるが、既に光学素子の表面に析出した炭素に酸素ガスを吹き付けてもこの炭素を取り除くことはできなかつた。

【0009】本発明は、このような問題を解決することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的のために、請求項1記載の発明（以下、第1発明という）では、所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投

10

影するX線光学系と、該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面に酸素のイオンビームを照射する手段を設けた。

【0011】また、請求項2記載の発明（以下、第2発明という）では、所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面にオゾンを照射する手段を設けた。

【0012】さらに、請求項3記載の発明（以下、第3発明という）では、所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子を有し該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器からなるX線露光装置において、前記X線光学系を構成する少なくとも一つの光学素子表面およびマスク表面を加熱する加熱手段を設けた。

20

【0013】さらにまた、請求項4記載の発明（以下、第4発明という）では、所望のパターンが形成されたマスクおよび光学素子からなり、該マスクにX線を照射して前記パターンをウエハ上に投影するX線光学系と、該X線光学系を真空空間中に保持する真空容器とを有するX線露光装置において、前記光学素子およびマスクの表面の少なくとも1つの面に炭素を付着し難くする処理を施すようにした。

【0014】

【作用】光学素子やマスクの表面に付着（吸着）した有機化合物は照射されたX線のエネルギーによって分解され、これにより原子状の炭素が析出する。この原子状の炭素は、酸素と反応するとCO等の炭酸ガスとなって気化するので、前記素子表面から除去される。しかし、酸素ガス（O₂）は比較的安定しているため炭素と反応し難く、炭酸ガスを形成させるには大量に供給する必要があった。また、既に析出してしまった炭素とは反応しないので、露光中に真空容器内に導入しなければ炭素の付着を防止できない。

40

【0015】これに対し、前記第1および第2発明で用いる酸素イオンビーム（O⁺）や酸素のラジカルの一種であるオゾンガス（O₃）は、非常に活性で炭素との反応性が高く、既に析出した炭素を除去することも可能である。そのため、これら酸素イオンビームやオゾンガスを光学素子やマスクの表面に照射すれば、少ない照射量（圧力が 10^{-5} ～ 10^{-4} Torr程度）で効率的に炭素の析出を防止することが可能である。その結果、これらのビームおよびガスを真空容器内に導入しても、X線が吸収されることで生じるX線強度の低下の割合を問題とならない程度に抑えることができる。

【0016】ところで、物体表面への分子の吸着の凝縮

50

係数あるいは付着確率は、一般に、温度が高いほど低くなる。物体表面に付着（吸着）した分子の平均滞在時間 τ は、物体表面の温度を T 、表面から脱離するための活性化エネルギーを Ed 、ボルツマン定数を k とすると、下式のように表すことができる。

【0017】

【数1】

$$\tau = \tau_0 \exp(Ed/kT)$$

【0018】従って、物体表面の温度 T が高いほど、付着した分子の平均滞在時間 τ は小さくなり、この分子は短い時間で表面から蒸発してしまう。そこで、前記第3発明においては、光学素子やマスクの表面を予め加熱しておることで、レジストから放出されたガスの主成分である有機化合物の付着を防止するようにした。これにより、光学素子やマスク表面への化合物の付着を大幅に低減でき、炭素の析出も防ぐことができる。この場合、光学素子やマスクの加熱温度が高いほど、有機化合物の付着防止効果も高くなるが、実施に際しては光学素子やマスクの耐熱性を考慮してその温度を設定する。例えば、窒化珪素(SiN)等のメンブレンとこの上に成膜したタンタル(Ta)やタングステン(W)等の高融点金属のX線吸收体とで透過型マスクのパターンを形成した場合、このマスクは1000°C近くまで加熱することが可能である。多層膜を使用した反射型マスクや多層膜ミラーでは、多層膜を構成する材料によって耐熱温度が異なる。比較的耐熱性の低いMoとSiの組み合わせの多層膜を用いた場合、加熱温度は200°C程度に制限されるが、MoとCを組み合わせた多層膜を用いた場合には500°C程度まで加熱することができる。

【0019】前記第4発明では、光学素子やマスクの表面に光学素子の表面自由エネルギーを低くするような表面処理を施しているため、炭素の析出を防止することができる。例えば、光学素子やマスクの表面にフッ素系プラスチックの薄い被膜を形成すると、素子やマスクの表面自由エネルギーが低くなり他の物質が付着し難くなる。その結果、有機化合物の付着あるいはこの化合物が分解して生成された炭素の付着を防止することができる。前記フッ素系プラスチックとしては、例えば、ポリテトラフルオロエチレン、ポリクロルトリフルオロエチレン、ポリフッ化ビニリデン、ポリフッ化ビニル、テフロン（テトラフルオロエチレンとフェキサフルオルプロピレンとの共重合体）などを使用できる。これらフッ素系プラスチックは、真空蒸着により形成することができる。フッ素系プラスチックの被覆の厚さは数10～数100Å程度よい。

【0020】上記第1～第4発明のいずれか1つ、またはそのうちの幾つかを組み合わせることにより、露光装置の光学系を構成する光学素子やマスクの表面への炭素の析出を効果的に防止することができる。なお、このような処置は必ずしも露光装置を構成する光学系の全ての

光学素子に施す必要はない。通常は、単位面積あたりに照射されるX線強度が特に大きい光学素子、即ち光学系の上流側（光源に近い側）の光学素子および光束が細く絞られて入射するミラーに対してのみに行えば、充分な効果を得ることができる。

【0021】

【実施例1】図1は、前記第1発明の一実施例を示す概略構成図であり、反射型マスクを用いた縮小投影型のX線露光装置の主要部を示している。本実施例のX線露光装置は、X線源を出射したX線から所定の波長（本実施例では130Å付近）のX線だけを選択する照明光学系（図示せず）、反射型マスク2、縮小投影露光系（結像光学系）を構成するシュバルツシルドミラー12、ウエハ5を載置するためのウエハステージ（図示せず）およびこれら各構成要素を収納する真空容器7とで構成されている。真空容器7には、X線の経路を所定の真空中に維持するためにイオンポンプ等の排気手段（図示せず）が設けられている。

【0022】前記縮小投影光学系として用いたシュバルツシルドミラー12は、鏡筒9とその内部に設置された凸面鏡4と凹面鏡3の2枚のミラーとで構成されている。これら各ミラーの反射面には、それぞれ多層膜が凸面状または凹面状に形成されている。凸面鏡4と凹面鏡3で使用した多層膜および反射型マスク2の反射部として設けた多層膜には、Mo/Siの組み合わせの多層膜を用いた。

【0023】このような構成のX線露光装置において、X線源から出射したX線6は、照明光学系を通り130Å付近の波長が選択されて反射型マスク2に入射する。マスク2で反射した光線6は、シュバルツシルドミラー12を構成する凸面鏡4と凹面鏡3でそれぞれ1回ずつ反射した後、PMMAレジストを塗布したウエハ5上にマスク2に形成されたパターンの縮小像を結像させる。なお、シュバルツシルドミラー12を通過するX線6が凸面鏡4に遮られないように、このシュバルツシルドミラー12はX線6の入射方向に対して少し傾いた状態で配置してある。

【0024】本実施例のX線露光装置は、また、その光学系を構成する光学素子の一部である反射型マスク2とシュバルツシルドミラー12の凸面鏡4に酸素イオンビーム61を照射できるように構成してある。そして、そのための手段として、イオン源1、流量計8、ガス供給管13およびガス供給源14とを備えている。イオン源1aは、反射型マスク2の表面部にイオンビームを照射するもので、真空容器7内部の密閉状態を維持できるよう容器7の壁面にフランジを介して設置されている。イオン源1bは、凸面鏡4の表面部にイオンビームを照射するもので、シュバルツシルドミラー12の鏡筒9に設けられた開口9aに取り付けられている。なお、両イオン源1a、1bの設置に際しては、X線6を遮ること

がないようにその取付位置を適宜設定しておく。イオン源1としては、イオンビームを得る際に一般的に用いられるカウフマン型のイオン銃を用いたが、ECR型等の他のイオン銃を使用してもよい。これらのイオン銃は、気体(本実施例においては酸素ガス)をイオン化してこのイオンを電場、磁場等により加速することで、所望の方向にビーム状のイオンを照射できるように構成されている。各イオン源1a、1bには、ガス供給源14から供給された酸素ガス(O₂)が、ガス供給管13を通ってそれぞれ流量計8a、8bを介して導入される。イオン源1a、1bから射出する酸素イオンビーム(O⁺)61の量はイオン源に導入されるガス圧力によって決まるので、流量計8を制御することで所定量の酸素イオンビーム61が反射型マスク2や凸面鏡4に照射される。また、酸素イオンビーム61の加速電圧は、前記カウフマン型イオン銃に設けられたイオンを引き出すための(グリッド)電極に与える電圧を制御することで調整できる。この加速電圧は、照射したイオンが光学素子やマスクに影響を与えない程度(数100eV以下、好ましくは数10eV以下)に設定することが望ましい。なお、本実施例では凹面鏡3にはイオンビームを照射していない。この理由は、凹面鏡3に入射するX線6は既に多層膜で2回(反射型マスク2と凸面鏡4)反射してある程度減衰しているため強度が低下していること、および凹面鏡3がX線6の光束が広がる部分に設置されているため単位面積当たりのX線強度が低いこと、により炭素の析出が他の光学素子(反射型マスク2と凸面鏡4等)に比べてそれ程顕著でないことによる。

【0025】本実施例のX線露光装置において、各イオン源1a、1bに流量計8a、8bを介して2sccmの酸素ガスを導入し、前記イオン源1の駆動電源によって500V、10mAの酸素イオンビーム61を引き出して、それぞれ反射型マスク2および凸面鏡4の表面に酸素イオンビーム61を照射した。これにより、真空容器7内には前記酸素イオンとイオン化しなかった酸素ガスが導入された。この時の真空容器7内の圧力は、約5×10⁻⁵Torrであった。

【0026】このような環境の下で、レジストを塗布したウエハ5を前記ウエハステージに載置してX線による露光を行い、ウエハ5(レジスト)に到達したX線のドーズ量(単位面積当たりのX線強度)を測定した。その結果、酸素イオンビームを照射しないで2×10⁻⁶Torrの圧力の真空中で露光した場合と同じ露光時間で、露光に必要な適正なドーズ量が得られ、酸素イオンおよびイオン化しなかった酸素によるX線の吸収は無視できる程度に小さかった。

【0027】また、反射型マスク2と凸面鏡4に酸素イオンビーム61を常時照射しながら、X線によるレジストへの露光を1000回行ったところ、最後まで同じ露光時間で適正なX線のドーズ量が得られ、レジストに到達す

るX線の強度の減少は認められなかった。比較のために、酸素イオンビームを照射せずにレジストの露光を行ったところ、十数回の露光を行うと同じ露光時間では適正なドーズ量が得られなくなつた。そして、50回露光した後では適正なドーズ量を得るために露光時間を露光開始時の2倍程度にまで延ばす必要が生じた。また、露光されたパターンの解像力も低下した。この状態で、X線は照射せずに、イオン源1により酸素イオンビーム61だけを反射型マスク2と凸面鏡4に10分間照射した。そして、再びX線を照射してレジストの露光を行ったところ、最初の露光時間で適正なドーズ量が得られるようになった。また、レジストの解像力も始めの状態まで回復した。この結果から、酸素イオンビームの照射によって、光学素子(反射型マスク2および凸面鏡4)の表面に析出した炭素が除去されて元の状態に回復したことが分かる。

【0028】

【実施例2】図2は、前記第1発明の他の実施例を示す概略構成図であり、透過型マスクを用いた縮小投影型のX線露光装置の主要部を示している。図2において、図1と同一機能を有する構成要件については同一符号を付してその説明を適宜省略する。

【0029】本実施例のX線露光装置は、実施例1のX線露光装置における反射型マスクの代わりに透過型マスクを用いた構成となっている。透過型マスク22を透過した光線6は、シュバルツシルドミラー12を構成する凸面鏡4と凹面鏡3でそれぞれ1回ずつ反射した後、PMMAレジストを塗布したウエハ5上にマスク22に形成されたパターンの縮小像を結像させる。

【0030】本実施例のX線露光装置では、透過型マスク22とシュバルツシルドミラー12の凸面鏡4に酸素イオンビーム62を照射できるように構成してある。そして、そのための手段として、イオン源1、流量計8、ガス供給管13およびガス供給源14とを備えている。イオン源1aは、透過型マスク22の表面部にイオンビームを照射するもので、真空容器7内部の密閉状態を維持できるように容器7の壁面にフランジを介して設置されている。イオン源1bは、凸面鏡4の表面部にイオンビームを照射するもので、シュバルツシルドミラー12の鏡筒9に設けられた開口9aに取り付けられている。なお、両イオン源1a、1bの設置に際しては、X線6を遮ることがないようにその取付位置を適宜設定しておく。また、本実施例においても実施例1と同様の理由により、凹面鏡3にはイオンビームを照射していない。

【0031】本実施例のX線露光装置において、各イオン源21a、21bに流量計8a、8bを介して2sccmの酸素ガスを導入し、イオン源21の駆動電源によって200V、10mAの酸素イオンビーム62を引き出して、それぞれ透過型マスク22および凸面鏡4の表面に酸素イオンビーム62を照射した。これにより、真空容器7内

には前記酸素イオンとイオン化しなかった酸素ガスが導入された。この時の真空容器7内の圧力は、約 5×10^{-5} Torrであった。

【0032】このような環境の下で、レジストを塗布したウエハ5を前記ウエハステージに載置してX線による露光を行い、ウエハ5（レジスト）に到達したX線のドーズ量（単位面積当たりのX線強度）を測定した。その結果、酸素イオンビームを照射しないで 2×10^{-6} Torrの圧力の真空中で露光した場合と同じ露光時間で、露光に必要な適正なドーズ量が得られ、酸素イオンおよびイオン化しなかった酸素によるX線の吸収は無視できる程度に小さかった。

【0033】また、透過型マスク22と凸面鏡4に酸素イオンビーム62を常時照射しながら、X線によるレジストへの露光を1000回行ったところ、最後まで同じ露光時間で適正なX線のドーズ量が得られ、レジストに到達するX線の強度の減少は認められなかった。比較のために、酸素イオンビームを照射せずにレジストの露光を行ったところ、十数回の露光を行うと同じ露光時間では適正なドーズ量が得られなくなつた。そして、50回露光した後では適正なドーズ量を得るために露光時間を露光開始時の2倍程度にまで延ばす必要が生じた。また、露光されたパターンの解像力も低下した。この状態で、X線は照射せずに、イオン源1により酸素イオンビーム62だけを透過型マスク22と凸面鏡4に10分間照射した。そして、再びX線を照射してレジストの露光を行つたところ、最初の露光時間で適正なドーズ量が得られるようになった。また、レジストの解像力も始めの状態まで回復した。この結果から、酸素イオンビームの照射によって、光学素子（透過型マスク22および凸面鏡4）の表面に析出した炭素が除去されて元の状態に回復したことが分かる。

【0034】

【実施例3】図3は、前記第2発明の一実施例を示す概略構成図である。図3において、図1と同一機能を有する構成要件については同一符号を付してその説明を適宜省略する。本実施例のX線露光装置は、実施例1で用いた酸素イオンビームの代わりにオゾンガス（O₃）を用い、このオゾンガスを反射型マスク2とシュバルツシルドミラー12の凸面鏡4および凹面鏡3とに吹き付けるように構成したものである。そして、そのための手段として、オゾン発生装置10、ノズル11、流量計8、ガス供給管13およびガス供給源14とを備えている。オゾン発生装置10は、ガス供給源14から供給された酸素ガスから高周波放電、直流放電または紫外線による光解離等の方法によってオゾンガスを生成する。生成されたオゾンガスは、ガス供給管13を通り各流量計8a、8b、8cを介してそれぞれノズル11a、11b、11cから反射型マスク2、凸面鏡4および凹面鏡3に向けて吹き付けられる。

10

【0035】反射型マスク2にオゾンガスを吹き付ける第1のノズル11aは、真空容器7内部の密閉状態を維持できるように容器7壁面にフランジ（図示せず）を介して設置されている。また、シュバルツシルドミラー12の凸面鏡4および凹面鏡3にオゾンガスを吹き付ける第2、第3のノズル11b、11cは、シュバルツシルドミラー12の鏡筒9に設けられた開口にそれぞれ取り付けられている。各ノズル11から真空容器7内に導入されるオゾンガスの圧力は、それぞれのノズル11に対応して設けられた流量計8を調整することで制御できる。なお、各ノズル11の設置に際しては、X線6を遮ることがないようにその取付位置を適宜設定しておく。

【0036】以上のような構成のX線露光装置において、ノズル11a、11b、11cからそれぞれ2 sccmのオゾンガス63を反射型マスク2、シュバルツシルドミラー12の凸面鏡4および凹面鏡3に吹き付けた。この時の真空容器7内の圧力は、約 6×10^{-5} Torrであった。このような環境の下で、レジストを塗布したウエハ5を前記ウエハステージに載置してX線による露光を行い、ウエハ5（レジスト）に到達したX線のドーズ量（単位面積当たりのX線強度）を測定した。その結果、オゾンガスを吹き付けないで 2×10^{-6} Torrの圧力の真空中で露光した場合と同じ露光時間で、露光に必要な適正なドーズ量が得られ、オゾンガス63およびオゾン発生装置10で解離しなかった酸素によるX線の吸収は無視できる程度に小さかった。

【0037】また、反射型マスク2、凸面鏡4および凹面鏡3にオゾンガス63を常時照射しながら、X線によるレジストへの露光を1000回行ったところ、最後まで同じ露光時間で適正なX線のドーズ量が得られ、レジストに到達するX線の強度の減少は認められなかった。比較のために、オゾンガスを吹き付けずにレジストの露光を行つたところ、十数回の露光を行うと同じ露光時間では適正なドーズ量が得られなくなつた。そして、50回露光した後では適正なドーズ量を得るために露光時間を露光開始時の2倍程度にまで延ばす必要が生じた。また、露光されたパターンの解像力も低下した。この状態で、X線は照射せずに、オゾンガス63だけを反射型マスク2、凸面鏡4および凹面鏡3に10分間吹き付けた。そして、再びX線を照射してレジストの露光を行つたところ、最初の露光時間で適正なドーズ量が得られるようになった。また、レジストの解像力も始めの状態まで回復した。この結果から、オゾンガスの吹き付けることで、光学素子（反射型マスク2、凹面鏡3および凸面鏡4）の表面に析出した炭素が除去されて元の状態に回復したことが分かる。

【0038】

【実施例4】図4は、前記第3発明の一実施例を示す概略構成図である。図4において、図1と同一機能を有する構成要件については同一符号を付してその説明を適宜

省略する。本実施例のX線露光装置は、前記縮小投影光学系として用いたシュバルツシルドミラー12を構成する凸面鏡44と凹面鏡43に設けられた多層膜、および反射型マスク42の反射部として設けた多層膜として、Mo/Cの組み合わせの多層膜を用いている。また、反射型マスク42と凸面鏡44を加熱する加熱手段として、赤外線ランプと該ランプから出射した赤外線を反射型マスク42または凸面鏡44に向けて反射する反射板からなる赤外線ヒーター31を備えている。凸面鏡44を加熱する赤外線ヒーター31bは、シュバルツシルドミラー12の鏡筒9に設けられた開口9aを通して赤外線64が凸面鏡44の表面に照射されるように設置されている。反射型マスク42と凸面鏡44には熱電対(図示せず)が取り付けられてそれぞれの温度を検出することができ、所望の温度となるように加熱することができる。なお、これら赤外線ヒーター31および熱電対等の設置に際しては、X線6を遮ることがないようにその取付位置を適宜設定しておく。また、本実施例においても実施例1と同様の理由により、凹面鏡43を加熱する手段は設けていない。

【0039】以上のような構成のX線露光装置において、赤外線ヒーター3により反射型マスク42と凸面鏡44とに赤外線64を照射して両者共に約500℃となるように加熱しながら、X線によるレジストへの露光を100回行った。その結果、1000回露光した後では、適正な露光に必要なX線のドーズ量を得るために必要な露光時間が1回目の露光の時よりも約5%長くなつたが、解像力の変化は認められなかつた。これに対して、反射型マスク42および凸面鏡44を加熱をしないでレジストの露光を行つたところ、十数回の露光を行つた後では1回目と同じ露光時間では適正なドーズ量が得られなくなり、50回露光した後では適正なドーズ量を得るために必要な露光時間は1回目のほぼ2倍となつた。また、パターンの解像力も低下した。

【0040】なお、加熱手段は赤外線ランプからなる赤外線ヒーター31に限定されるものではなく、他の加熱手段を用いても同様の効果を得ることができる。

【0041】

【実施例5】図5は、前記第4発明のX線露光装置に設置される、表面に炭素を付着し難くする処理が施してある光学素子またはマスクの部分的な概略断面図である。このような光学素子またはマスクは、例えば、図1の装置における凹面鏡3、凸面鏡4および反射型マスク2として用いるもので、ガラスまたはSiC等のセラミクスからなる基板43と、この基板43上に形成された数10～数100層の多層膜42(図では層数を省略してある)と、多層膜42上に形成されたPTFE(ポリテトラフルオロエチレン)層41とで構成されている。なお、反射型マスクとして使用する場合は、多層膜42上にタンタルから成る吸収体を所望のパターン形状に形成してお

10

20

30

40

50

き、その後多層膜42および吸収体上にPTFE層41を形成した。この場合、前記吸収帯とPTFE層41との上下関係は特に限定する必要はないが、パターンを形成する前記吸収体と多層膜42間の密着性を増すためにPTFE層41を最上面とした方が好ましい。PTFE層41は、フッ素系プラスチックの一種で、これを素子またはマスク上に形成されることで該素子またはマスクの表面自由エネルギーを低くすることができる。

【0042】これらPTFE層41が形成された光学素子およびマスクを、X線光学系を構成するシュバルツシルドミラーの凹面鏡と凸面鏡および反射型マスクとして設置し、X線によるレジストへの露光を1000回行った。その結果、1000回露光した後では、適正な露光に必要なX線のドーズ量を得るために必要な露光時間が1回目の露光の時よりも約5%長くなつたが、解像力の変化は認められなかつた。これに対して、PTFE層を設けていない凹面鏡、凸面鏡および反射型マスクを用いた他は同様の条件を設定してレジストの露光を行つたところ、十数回の露光を行つた後では1回目と同じ露光時間では適正なドーズ量が得られなくなつた。そして、50回露光した後では適正なドーズ量を得るために必要な露光時間は1回目のほぼ2倍となつた。また、パターンの解像力も低下した。

【0043】なお、本実施例では炭素の付着を防止する表面処理として光学素子およびマスクの表面にPTFE層を形成した。しかし、表面処理はこれに限定されるものではなく、他の有効な処理を施しても良い。

【0044】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、X線露光装置を構成する光学素子やマスク表面に炭素被膜が析出するのを防止することができる。そのため、光学素子として用いる多層膜ミラーの反射率の低下やマスクのコントラストの低下を防ぐことが可能となる。その結果、X線露光装置において長期間にわたる高いスループットと高解像力を維持することが可能となる。

【0045】また、酸素イオンビームまたはオゾンを吹き付ける場合(請求項1および2)では、炭素被膜の析出を防止するだけでなく、既に析出した炭素被膜を除去することも可能である。さらに、オゾンを吹き付けるように構成した場合は、露光装置における真空容器内には細いノズルを取り付けるだけで済み、該装置を構成する際に設計の自由度が増すという利点がある。

【0046】なお、各実施例では縮小投影光学系に2枚の球面鏡からなるシュバルツシルドミラーを用いた場合について説明したが、さらに球面鏡の枚数の多い光学系または非球面鏡を用いた光学系に対しても本発明は有効に機能するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】は、請求項1記載の発明の一実施例を示す概略構成図であり、反射型マスクを用いた縮小投影型のX線

露光装置の主要部を示している。

【図2】は、請求項1記載の発明の一実施例を示す概略構成図であり、透過型マスクを用いた縮小投影型のX線露光装置の主要部を示している。

【図3】は、請求項2記載の発明の一実施例を示す概略構成図であり、反射型マスクを用いた縮小投影型のX線露光装置の主要部を示している。

【図4】は、請求項3記載の発明の一実施例を示す概略構成図であり、反射型マスクを用いた縮小投影型のX線露光装置の主要部を示している。

【図5】は、請求項4記載のX線露光装置に設置される、表面に炭素を付着し難くする処理が施してある光学要素またはマスクの部分的な概略断面図である。

【主要部分の符号の説明】

- 1 イオン源
- 2 反射型マスク
- 3 凹面鏡
- 4 凸面鏡

5 ウエハ

6 X線

7 真空容器

8 流量計

9 鏡筒

10 オゾン発生装置

11 ノズル

12 シュバルツシルドミラー

14 ガス供給源

10 22 透過型マスク

31 赤外線ヒーター

51 PTFE層

52 多層膜

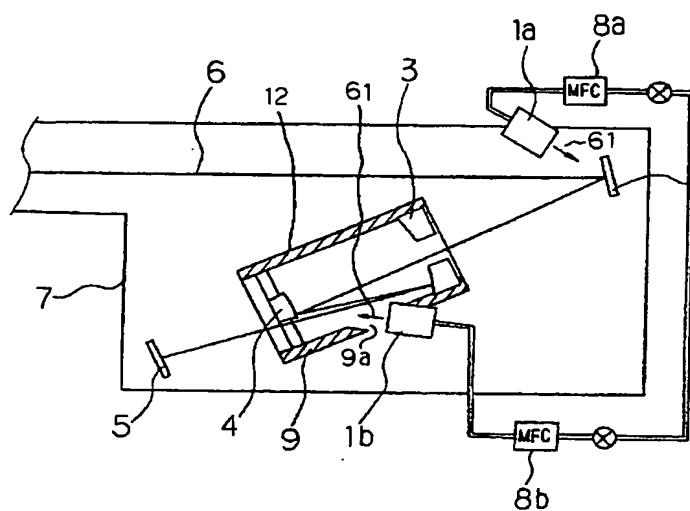
53 基板

61 酸素イオンビーム

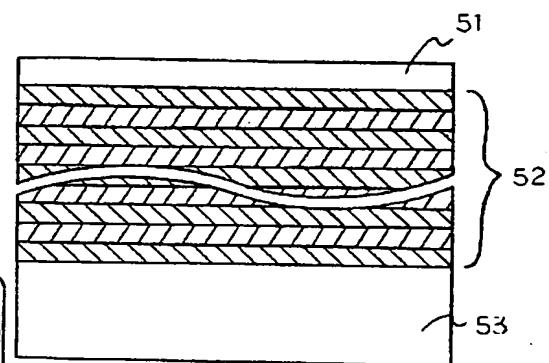
63 オゾンガス

64 赤外線

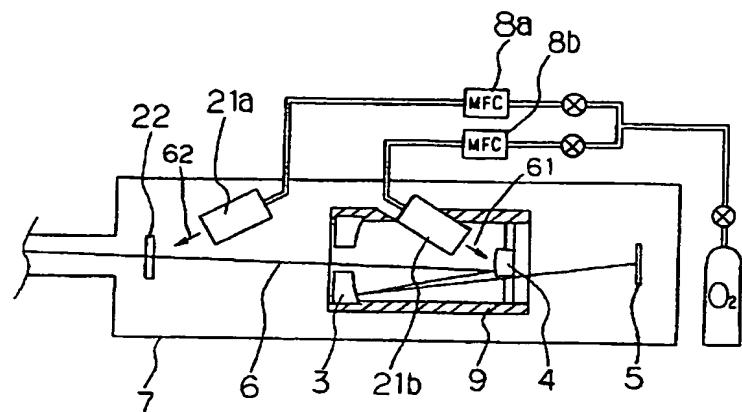
【図1】



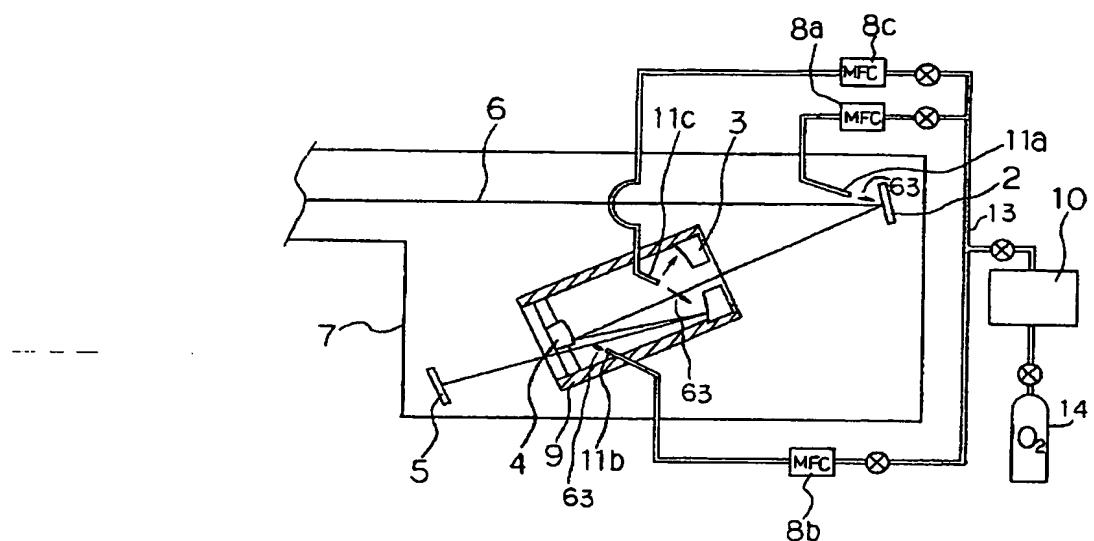
【図5】



【図2】



【図3】



【図4】

